FLUJOS DE TRANSPIRACIÓN DE *Pinus sylvestris* EN UN AMBIENTE PRE-PIRENAICO. MÉTODO DE MEDIDA Y PRIMEROS RESULTADOS

I. Oliveras & P. Llorens

Institut de Ciències de la Terra 'Jaume Almera' (CSIC). BARCELONA

1.- INTRODUCCIÓN

El presente estudio está integrado en los proyectos de investigación sobre el funcionamiento hidrológico y la dinámica de sedimentos que se están llevando a cabo desde 1989 en las cuencas experimentales de Vallcebre en el Pre-Pirineo catalán (GALLART et *al.*, 1998). Concretamente, la parcela de estudio está situada en la cuenca experimental de Cal Parisa (36 Ha), que fue seleccionada hace 11 años (LLORENS & GALLART, 1992) como representativa de las zonas de montaña Mediterránea donde las modificaciones geoecológicas que se produjeron con la introducción de la agricultura fueron abandonadas a mediados del presente siglo, produciéndose desde entonces una forestación espontánea por *Pinus sylvestris*. El papel de estas modificaciones antrópicas y los cambios en los usos del suelo sobre la hidrología de estas zonas de cabecera ha sido y es uno de los principales objetivos de las investigaciones en esta zona (LLORENS et *al.*, 1992; GALLART et *al.*, 1994 y 1997).

En este trabajo se presenta la descripción metodológica y unos resultados preliminares del estudio de la transpiración de una parcela experimental en un rodal de reforestación espontánea por Pino albar. Este estudio pretende informarnos sobre las pérdidas de agua hacia la atmósfera por transpiración por este tipo de cubierta y ser un complemento de los estudios paralelos que se están realizando en la misma zona sobre intercepción del pino albar (LLORENS et *al.*, 1997b) y sobre la evapotranspiración en las zonas de terrazas cubiertas con una vegetación mesófila típica de campos abandonados (LLORENS et *al.*, 1997a).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Principio teórico del método

El método elegido para el estudio de la transpiración de *Pinus sylvestris* es el método del medidor de flujo de savia radial (GRANIER, 1985), que se basa en la medición de la diferencia de temperatura entre dos sondas insertas en la madera del árbol, una de las cuales es calentada de forma constante, y la otra sonda sirve de referencia. La diferencia de temperatura entre las sondas, mediada mediante sendas uniones de un termopar, es menor cuanto mayor es la transpiración del árbol y es máxima en ausencia de flujo de savia.

El sensor consta de dos sondas cilíndricas de 2 mm de diámetro y 20 mm de longitud

que se insertan radialmente dentro de la albura del árbol, separadas entre sí unos 20 cm, y va conectado a un colector de datos para el registro en continuo (fig.1)

Se define la velocidad de flujo con la siguiente relación, única para todo tipo de árbol, en función de los gradientes de temperatura (GRANIER, 1985):

$$u = \alpha \left[\frac{\Delta T(0)}{\Delta T(u)} - 1 \right]^{\beta} \qquad (1)$$

u = velocidad de flujo de savia (10^{-6} m·s^{-1})

$\Delta T(0)$ = diferencia de temperatura a flujo nulo

$\Delta T(u)$ = diferencia de temperatura a flujo u

α, β = parámetros obtenidos experimentalmente en el laboratorio y validados estadísticamente.

Para conocer el flujo total de savia, F, se multiplica la velocidad de flujo por la superficie de xilema activo S_a del árbol:

$$F = u \cdot S_a \qquad (10^{-6}\ m^3 \cdot s^{-1}) \qquad (2)$$

Las principales ventajas del método, comparándolo con otros métodos de medición de la transpiración en árboles, son:

1) Comparándolo con métodos ecofisiológicos, como por ejemplo el analizador IRGA, el método Granier permite obtener información integrada a escala de árbol y en continuo de la transpiración y no solo información no continua a escala de hoja.

2) Comparándolo con los métodos micrometeorológicos de referencia, como es por ejemplo el método de la covarianza (o Eddy correlation method), el método de flujo de savia tiene un menor coste económico, humano y de computación, además se ha demostrado su validez en estudios donde se han comparado dichos métodos (GRANIER et al., 1996).

3) Comparando con otros métodos de medición del flujo de savia, como el método de impulsos de calor o de balance térmico, este método presenta las ventajas de ser de

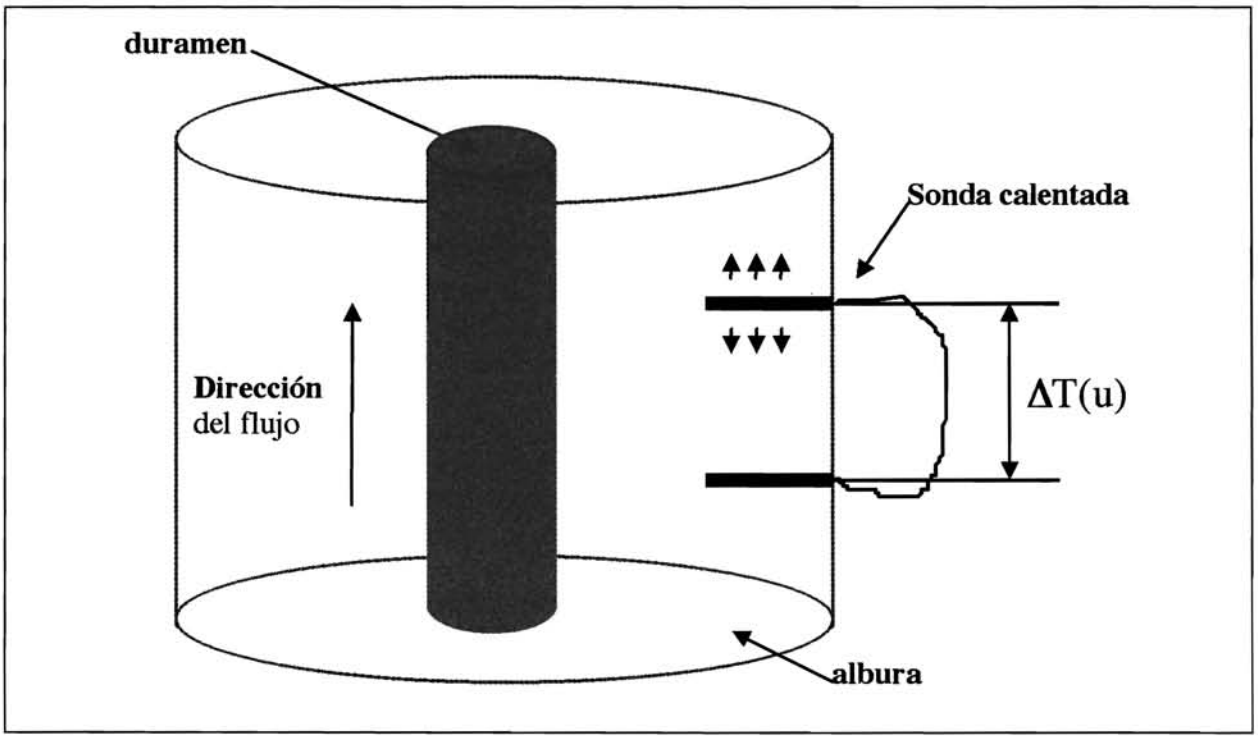


Figura 1. Esquema del medidor de flujo radial, según descripción en GRANIER, 1985

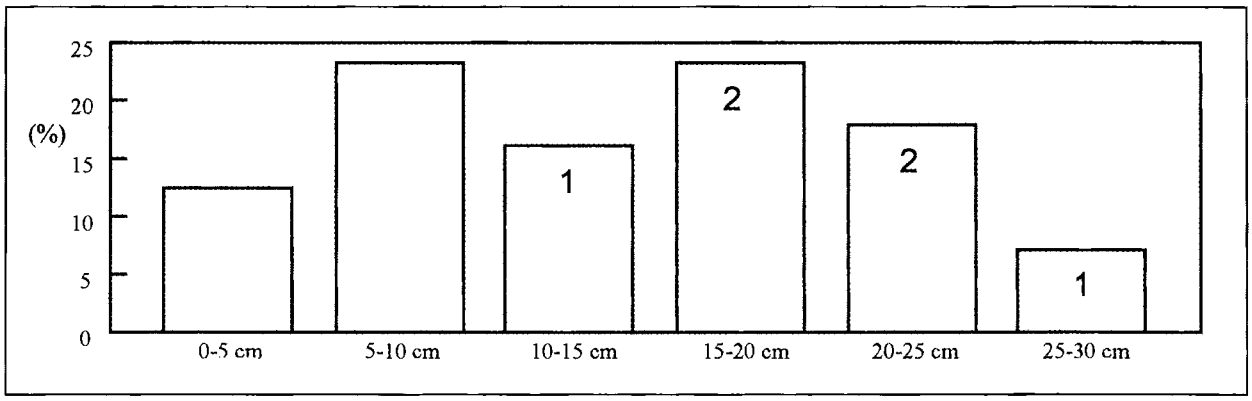


Figura 2. Histograma de distribución de los árboles por clases diamétricas y número de árboles sondados

sencilla instalación, tener una larga durabilidad y presentar un bajo coste económico.

Los principales problemas que presenta son:

1) El método asume que el flujo es uniforme en todo el xilema activo. Así pues, se extrapolan los resultados de dos centímetros de albura a todo el xilema activo, aunque en algunos tipos de madera se den diferencias de flujo radiales o azimutales en la albura.

   Aunque en el caso de *Pinus sylvestris*, gracias a su estructura conductora homogénea compuesta de traqueidas, elementos en los cuales la transferencia hídrica lateral es importante, se da una buena uniformización del flujo de savia.

2) Determinación del área de albura. Se debe ser especialmente cautelar con dicha estimación, pues es un factor multiplicativo de la velocidad de flujo de savia para obtener la transpiración total y, por tanto, el error en su estimación repercute directamente en la estimación de la transpiración.

2.2. Aplicación del método en la parcela de estudio

La parcela de estudio es de exposición S, y comprende una cubierta forestal densa (2400 árboles/ha) monoespecífica sin sotobosque. Los árboles tienen edades muy similares, siendo la media de 37 años, en cambio tienen alturas muy distintas, siendo la altura media de 7,5 m (coeficiente de variación del 34%), e importantes diferencias de diámetros, con un diámetro medio de 17 cm con un coeficiente de variación del 56% (LLORENS et *al.*, 1997b).

Aunque los flujos de transpiración en esta parcela experimental se comenzaron a estudiar en 1994 (POCH & LLORENS, 1994), en el presente trabajo solo se comentarán los resultados de seis árboles sondados en la primavera de 1997, que continúan en funcionamiento en la actualidad. Los árboles de la parcela fueron clasificados según clases de DBH y a partir del peso de cada clase en el conjunto de la parcela se escogieron los árboles a sondar (fig.2).

El cálculo de la superficie de xilema activo se ha realizado mediante muestreos anuales del área de tejido xilemático de árboles cercanos a la parcela experimental por medio de una barrena Pressler. La figura 3 muestra el resultado de la regresión realizada entre la área de xilema activo y la área basal a partir de la cual se estimó la área de albura de los árboles sondados para la determinación de la transpiración.

3. RESULTADOS PRELIMINARES

Se presentan las velocidades de flujo de savia bruta para un mismo periodo en dos años consecutivos, del 19 al 29 de junio de

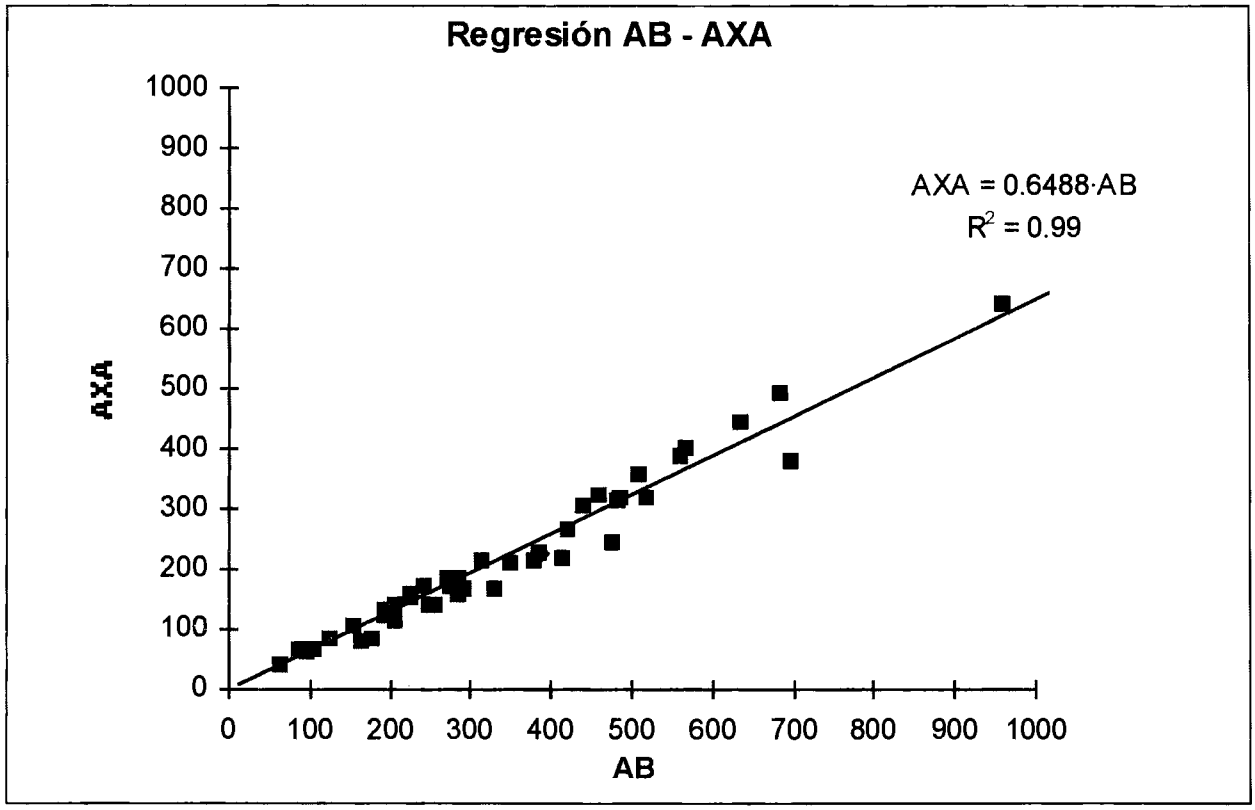


Figura 3. Regresión entre área basal (AB) y área de xilema activo (AXA)

1998 y 1999 (fig. 4), representativos de condiciones ambientales diferentes.

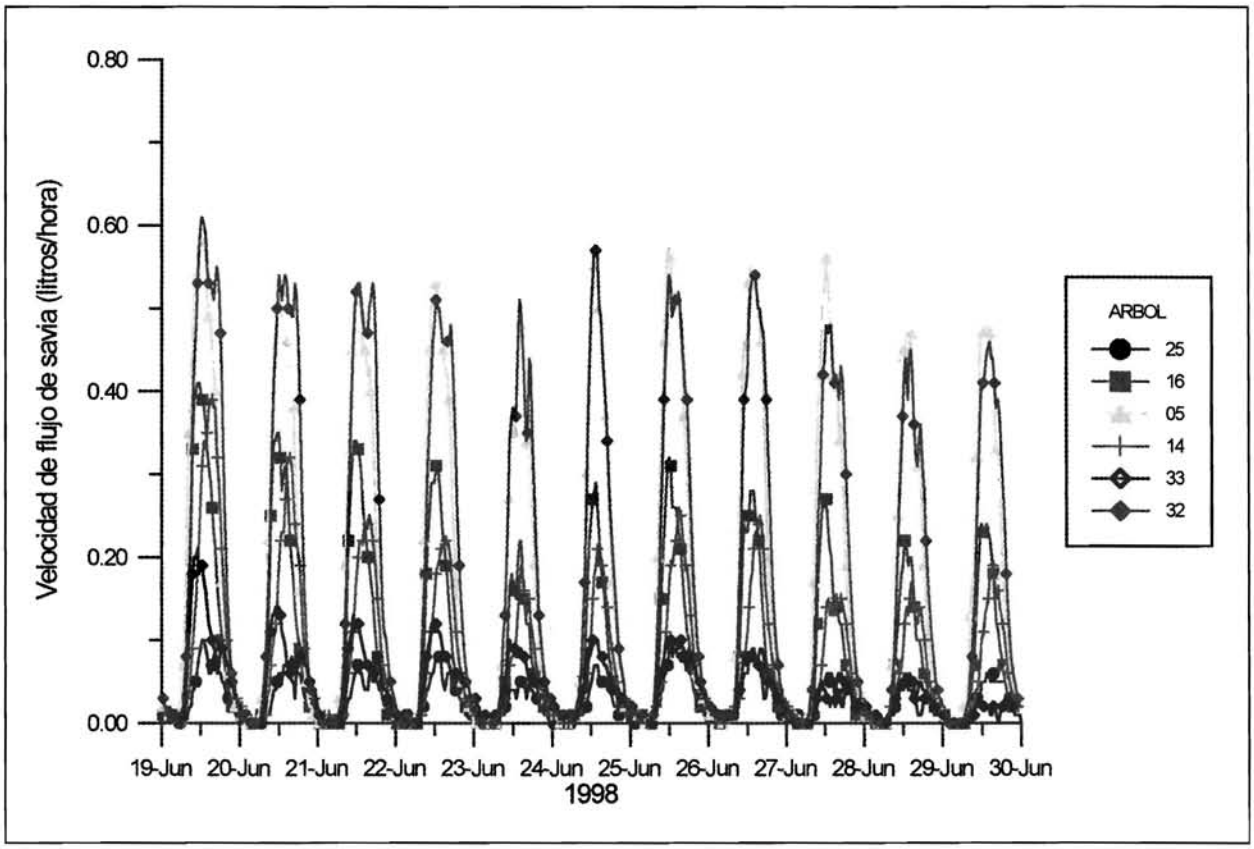
Diferencias de velocidad de flujo de savia entre árboles

En la figura 4 pueden apreciarse que las diferencias de velocidad de flujo entre árboles siguen una misma jerarquía en ambos periodos. Los árboles con mayor velocidad, el 32 y el 5, no tienen competencia lumínica en la dirección S-SO y sus ramas presentan esa misma orientación preferente. El árbol 16 presenta también una orientación S-SO de sus ramas, pero se encuentra limitado lumínicamente en la dirección S-SE. El árbol 14 recibe una competencia lumínica muy fuerte en la dirección S-SO, que es a su vez la orientación preferente de sus ramas. Por último, los árboles 33 y 25 son los que presentan una menor velocidad de flujo, teniendo ambos una orientación preferente de sus ramas dirección E, ya que por el S entran en gran competencia con otros árboles.

Diferencias de velocidad de flujo de savia entre ambos períodos

Todos los árboles presentan una mayor velocidad de flujo de savia en 1999; las diferencias son mayores cuanto menor es la velocidad de flujo en ellos. Esto es, los árboles que menores diferencias presentan, del orden de un 10%, son el 32 y el 5, mientras que el que presenta una mayor diferencia de flujo es el árbol 25, del orden de un 67%.

Esta mayor velocidad de flujo en 1999 puede ser explicada por las diferencias entre las condiciones ambientales de ambos periodos. Aunque no se aprecien diferencias significativas en precipitación, y la demanda evaporativa sea mayor en 1998 que en 1999, la transpiración se ve más limitada en 1998 debido al estrés hídrico. La humedad del suelo, medida semanalmente en un perfil 0-80 cm, tiene un valor medio alrededor del 20% los dos años, aunque este valor es un 2% mayor en 1999. Así pues, en ambos periodos los árboles sufren unas condiciones de estrés



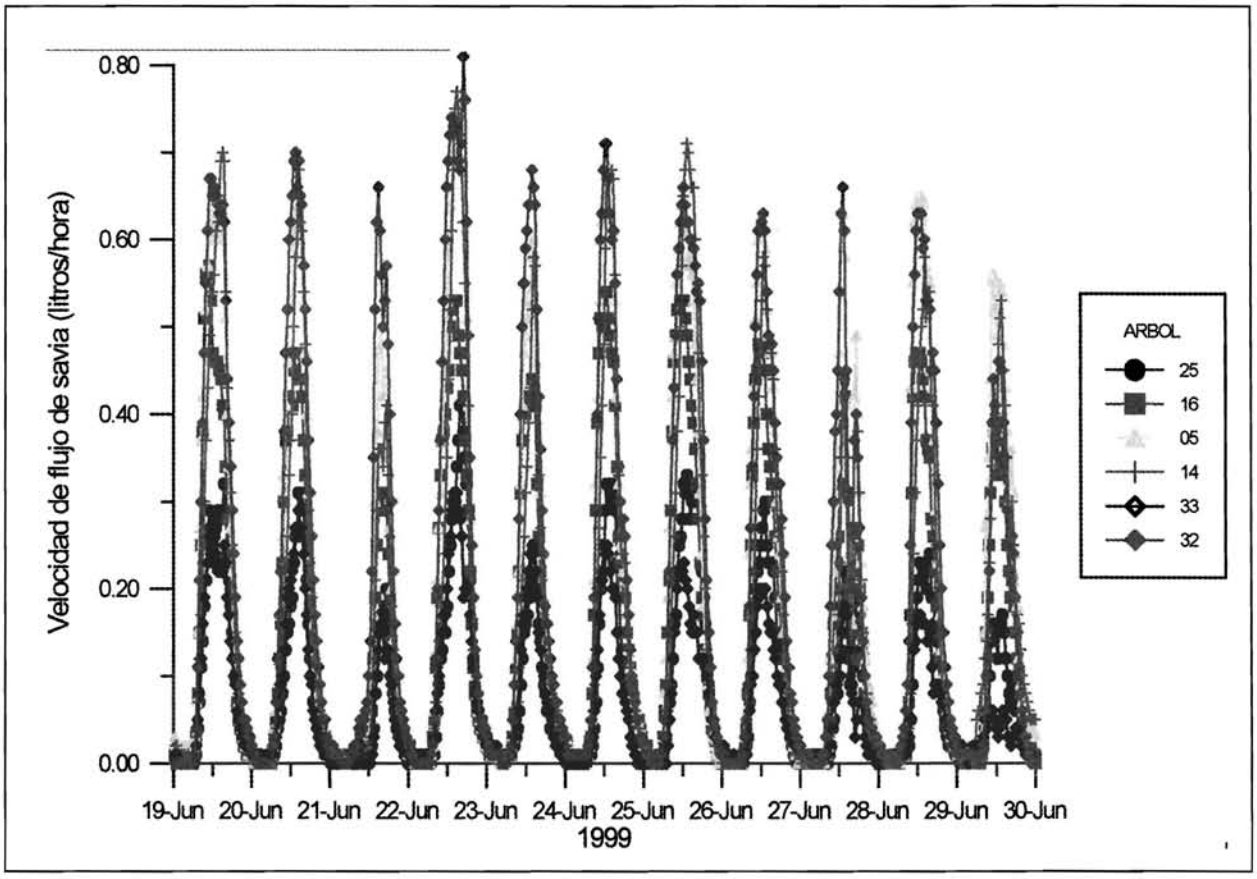


Figura 4. Velocidad de flujo de savia. Arriba: 19-29 junio 1998. Abajo: 19-29 junio 1999

hídrico que, en el caso de 1998, se mantiene desde varios meses antes, razón que puede explicar una menor transpiración.

4. CONCLUSIONES

La velocidad de flujo de savia en *Pinus sylvestris* varia a nivel de individúo, según la orientación de sus ramas y la competencia lumínica que tengan. La magnitud de la velocidad del flujo depende de las condiciones ambientales y se ve fuertemente limitada por las condiciones de estrés hídrico y la perdurabilidad de éste. En condiciones de estrés hídrico, una pequeña variación en la humedad del suelo puede favorece considerablemente a una mayor transpiración, aunque la demanda evaporativa sea menor.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación recibida de la red RESEL (acuerdo DGCONA-CSIC), y al proyecto EPROHIDRO (HID98-1056-C02-01).

6. BIBLIOGRAFÍA

GALLART, F.; LATRON, J.; LLORENS, P.; RABADA, D. 1997: Hydrological functioning of Mediterranean basins in Vallcebre, Catalonia: Some challenges for hydrological modelling. *Hydrol. Processes.*, 9(11): 1263-1272.

GALLART, F.; LLORENS, P.; LATRON, J.; REGÜÉS, D.; SALVANY, M. C. 1998: *Las cuencas experimentales de Vallcebre (I)*: Funcionamiento hidrológico. en: Investigaciones recientes de la Geomorfología Española, A. Gómez & F. Salvador (Eds): 187-192.

GALLART, F.; LLORENS, P.; LATRON, J. 1994: Studying the role of old agricultural abandoned terraces on runoff generation in a Mediterranean small mountainous basin. *J. Hydrology*, 159.: 291-303.

GRANIER, A. 1985: Une nouvelle méthode de mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales of Science Forestier*, 42 (2), 193 - 200.

GRANIER, A.; BIRON, P.; KÖSTNER, B.; GAY, L.W.; NAIJAR, G. 1996: Comparisons of xylem sap flow and water vapour flux at the stand level and derivation of canopy conductance for Scots pine. *Theoretical and Applied Climatology*, 53, 115-1222.

KÖSTNER, B.; GRANIER, A.; CERMÁK, J. 1998: Sapflow measurements in forest stands: methods und uncertainties. *Annales of Science Forestier*, 55, 13-27. Inra/Elsevier, París.

LLORENS, P.; GALLART, F. 1992: monitoring a small basin response in a Mediterranean mountainous abandoned farming area: Research design and preliminary results; *Catena* 19: 309-320.

LLORENS, P.; LATRON, J.; GALLART, F. 1992: Analysis of the role of agricultural abandoned terraces on the hydrology and sediment dynamics in a small mountainous basin (High Llobregat, Eastern Pyrenees). *Pirineos*, 139: 27-46.

LLORENS, P.; ABRIL, M.; SALVANY, C.; POCH, R., GALLART, F. 1997a: Monitoring evapotranspiration and interception from grassland and forest patches overgrown in abandoned terraces at the Cal Parisa basin. Ecohydrological processes in small basins, Viville, D. & Littlewood, I.G. (Eds), *Technical documents in Hydrology N°14*, UNESCO: 1-5.

LLORENS, P.; POCH, R.; LATRON, J.; GALLART, F. (1997b): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. I. Monitoring desing and results down to the event scale. *J. Hydrology*, 199: 331-345.

POCH, R. & LLORENS, P. 1994: *Estudio sobre el flujo de savia de Pinus sylvestris mediante la técnica de Granier*. En: MORENO & GALLART (Coord.): Técnicas de medida del flujo de savia en árboles. El agua en sistemas naturales y agrícolas: Acción inmediata del Programa movilizador del CSIC: CSIC informe interno.